MANUEL D'UTILISATION

DU SYSTEME COMPARS

CONTRÔLEUR MULTIPROCESSEURS ADAPTATIF POUR LE RAYONNEMENT DE SOUFFLANTES

Version 1.2 - Novembre 95

rédigé par : WINNINGER Muriel
ROURE Alain

LABORATOIRE DE MÉCANIQUE ET D'ACOUSTIQUE
31, chemin Joseph Aiguier - 13402 MARSEILLE Cedex 20

I - PRÉSENTATION

Le système COMPARS est un ensemble (Hardware and Software) permettant de réaliser la minimisation active de champs acoustiques ou vibratoires .

D'une manière générale, le contrôle actif consiste à produire un champ opposé à celui indésirable appelé champ primaire, à l'aide de sources de contre-bruit (dites secondaires). Le calcul en temps réel des signaux électriques à envoyer sur les sources secondaires se fait par le biais d'un algorithme qui utilise les signaux issus de capteurs (dits de contrôle, ou d'erreur), placés aux endroits où l'on désire réduire le champ primaire.

A l'exception des sources secondaires, le système COMPARS contient tous les ingrédients nécessaires à ce contrôle.

Ce système se compose de 4 sous-systèmes représentant les différents maillons de la chaîne de traitement (Fig. 1) :

- un boîtier de pré-amplification des 19 microphones à électret qui serviront de microphones d'erreur ;
- un boîtier de conditionnement de signaux de 19 voies à gain et filtre passe-haut programmables ;
- le contrôleur, proprement dit, comportant 17 processeurs et permettant l'acquisition de 19 voies d'entrée, leur traitement par l'algorithme de contrôle et la commande de 16 voies de sortie ;
- un PC portable muni de tous les logiciels de pilotage de l'ensemble.

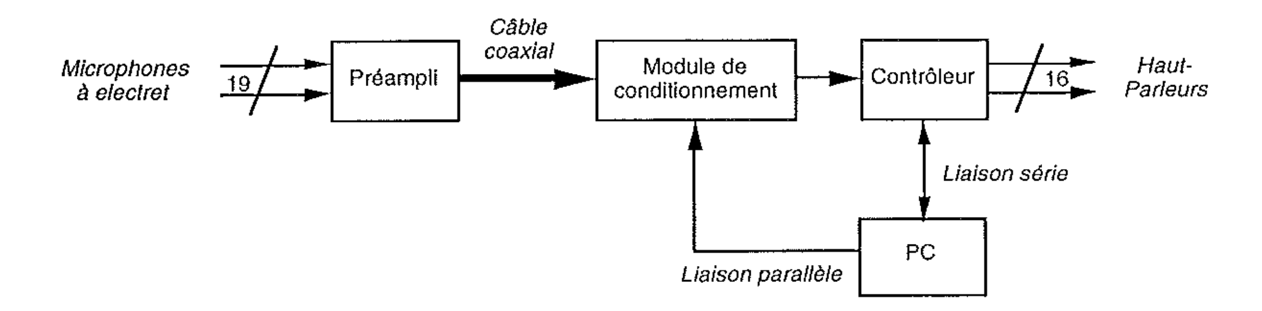


Fig. 1 - Synoptique du système complet

Le logiciel COMPARS, qui doit être utilisé sur PC, permet de choisir l'algorithme de traitement et un certain nombre de paramètres associés à l'algorithme et à l'expérimentation. Le tout est chargé par l'intermédiaire d'une liaison série RS232 dans le contrôleur où le traitement temps réel peut alors s'effectuer.

Le système COMPARS est en fait un instrument très pratique et général de traitement du signal multivoies, temps réel. Il est possible de programmer n'importe quel type d'algorithme reliant les voies d'entrée et de sortie. Il a été cependant conçu dans l'optique d'une utilisation en contrôle actif et dans le but de réduire au minimum la contribution de l'utilisateur. C'est cette fonctionnalité qui est décrite dans cette notice.

Le chapitre II donne les caractéristiques générales des boîtiers et la fonction des différents boutons et connecteurs accessibles à l'utilisateur.

Le chapitre III décrit le logiciel associé à l'utilisation d'un algorithme de minimisation appelé LMS dont les propriétés sont rappelées en annexe A.

Enfin le chapitre IV donne un exemple pratique d'utilisation du système.

II - DESCRIPTION DU SYSTÈME COMPARS

II.3 - LE CONTRÔLEUR

Le système est conditionné dans un coffret de dimensions 449 x 311 x 361 mm, contenant un ensemble de cartes positionnées de gauche à droite comme suit :

- une carte maître chargée d'envoyer les données aux processeurs esclaves et de communiquer avec l'ordinateur ;

- une carte d'acquisition permettant le filtrage antirepliement des signaux d'entrée et leur conversion analogique-numérique ;

---

[1] On obtient ainsi ±3 v en sortie du conditionneur, et ±10 V au niveau des convertisseurs.

- huit cartes esclaves, correspondant chacune à deux voies de sorties et destinées à commander les sources secondaires. Chaque carte esclave dispose d'un interrupteur de codage placé sur le circuit imprimé. Il permet de numéroter (de 0 à 7) les cartes les unes par rapport aux autres. L'interrupteur de codage dispose de 4 boutons mais seuls les 3 premiers sont utilisés. Le codage, de type binaire, s'effectue comme suit :

* la première carte porte le numéro 0 et les 3 boutons (1, 2 et 3) sont placés vers le haut (position 0) ;

* la deuxième carte porte le numéro 1 et le bouton 1 est placé vers le bas (position 1) ;

* pour la troisième carte qui porte le numéro 2, ce sera le bouton 2 qui sera placé en position 1, et ainsi de suite pour toutes les cartes en respectant le codage binaire[1].

La face avant du contrôleur comporte :

- un interrupteur (RESET) permettant d'effectuer directement une remise à zéro du système. Après utilisation de cet interrupteur, il est nécessaire de procéder au rechargement des programmes et des paramètres de l'expérimentation. Un RESET automatique est effectué à la mise sous tension du boîtier, mais en cas de problème, il peut être utile d'en effectuer un manuellement. Un RESET permet aussi de stopper immédiatement le système en cas de divergence de l'algorithme[2] ou pour toutes autres raisons ;

- un autre interrupteur (START/STOP) attribué à une remise à zéro des zones mémoires servant à l'algorithme de minimisation et au redémarrage de celui-ci ;

- une entrée BNC (HORLOGE EXT) permettant de faire fonctionner le système avec une fréquence d'échantillonnage externe ;

- une entrée BNC (TOP SYNCHRO) permettant la synchronisation du système avec un signal extérieur[3] ;

- une série de 16 LED jaunes indiquant le nombre de capteurs de contrôle en fonctionnement ;

- une LED verte indiquant la mise sous tension du système ;

- un bouton potentiométrique permettant le réglage du coefficient de convergence β, dont la valeur se situe entre 0 et 2048. Lors d'une divergence de l'algorithme, on peut en général retourner à un état stable en baissant légèrement β[4] ;

---

[1] Par exemple, pour la carte n° 3 les boutons 1 et 2 seront en position 1.

[2] En cas de divergence de l'algorithme, essayez d'abord l'interrupteur START/STOP.

[3] Cette entrée est inopérante avec l'algorithme LMS. Elle sert avec l'horloge externe, à des algorithmes synchrones.

[4] Ne pas le mettre à zéro car, comme le montre la formule (1) de l'annexe A, il n'y aurait alors plus de correction des $w_i(k)$ et la divergence persisterait.

- 16 sorties BNC destinées à envoyer un signal de commande aux sources secondaires. Les tensions de sorties se situent entre ± 2,5 V ;

- 16 LED vertes permettant de visualiser les processeurs esclaves en fonctionnement ;

- 16 LED rouges indiquant la saturation des voies.

Sur la face arrière, on trouve :

- un connecteur de type DB25 pour la liaison série (RS232) avec le PC. Elle s'effectue à 9600 bauds sur 8 bits, sans bit de parité ;

- un connecteur 50 points Delta-Ribbon pour l'arrivée des signaux depuis le module de conditionnement.

III - LES LOGICIELS DU SYSTÈME COMPARS

A chaque algorithme de traitement, est associé un logiciel permettant, d'une part l'implantation du code objet dans le boîtier et d'autre part, de modifier et de contrôler l'action en temps réel des différents paramètres liés à l'algorithme.

Cette notice décrit exclusivement le logiciel rattaché à l'algorithme LMS[1]. Cet algorithme est abondamment utilisé en contrôle actif en raison de sa simplicité de mise en oeuvre et de ses performances sur les bruits périodiques. Nous invitons le lecteur qui ne le connaîtrait pas à lire l'annexe A du présent document. Nous y donnons, à partir d'un exemple classique, une formulation simple de l'algorithme ainsi qu'une description détaillée des différents paramètres et une manière pratique de les déterminer.

Le logiciel d'accompagnement de l'algorithme LMS existe actuellement en une version classique pour PC avec visu graphique que nous décrivons dans ce chapitre.

Le programme se trouve sur une disquette 3 1/2 pouces et peut être copiée de manière classique sous MS-DOS.

Outre l'exécutable COMPARS.EXE la disquette comporte également les fichiers LMSR.OUT et TEST.OUT qui contiennent les codes assembleur des algorithmes à charger dans le contrôleur et les fichiers TEMPO.CMP, SENS.CMP et GAIN.CMP qui servent respectivement à la sauvegarde de données temporaires, à celle de la sensibilité des microphones et à celle des valeurs des gains[1]. Ces 5 fichiers doivent se trouver dans le même répertoire que COMPARS.EXE lors de l'exécution.

Le logiciel COMPARS permet de charger l'algorithme de traitement (ici l'algorithme LMS) et de modifier les paramètres de cet algorithme. Il permet aussi de contrôler en temps réel certaines variables de l'algorithme lors de son déroulement. Il permet aussi le stockage de données, autorisant ainsi un lancement rapide dans le cas de manipulations répétitives.

Le lancement se fait soit en tapant COMPARS puis en appuyant sur la touche RETURN, soit en cliquant 2 fois sur COMPARS.EXE dans la fenêtre du DOSSHELL.

Le système est entièrement piloté depuis le PC. Le programme, implanté sur celui-ci, se présente sous forme de plusieurs menus dont on sélectionne les champs par différentes touches. Ces menus permettent à l'utilisateur de régler au mieux l'algorithme LMS en fonction de l'expérimentation en cours.

---

[1] Les fichiers TEMPO.CMP et GAIN.CMP sont gérés uniquement par le logiciel. Le fichier SENS.CMP doit être remis à jour par l'utilisateur en cas de changement de microphones (voir chapitre II pour le calcul de la sensibilité).

Nous en donnons ici une description dans l'ordre logique d'utilisation.

Lors du lancement du programme sur le PC, l'ordinateur teste les ports série et parallèle qui servent respectivement à la liaison avec le contrôleur et avec le boîtier de conditionnement des signaux. Il affiche un message d'erreur en cas de problème.

III.1 - LES VARIABLES DE L'ALGORITHME LMS

En cas de succès du test de liaison, un menu affiche la liste des variables (Fig. 4), utilisées par l'algorithme LMS, avec leurs dernières valeurs choisies.

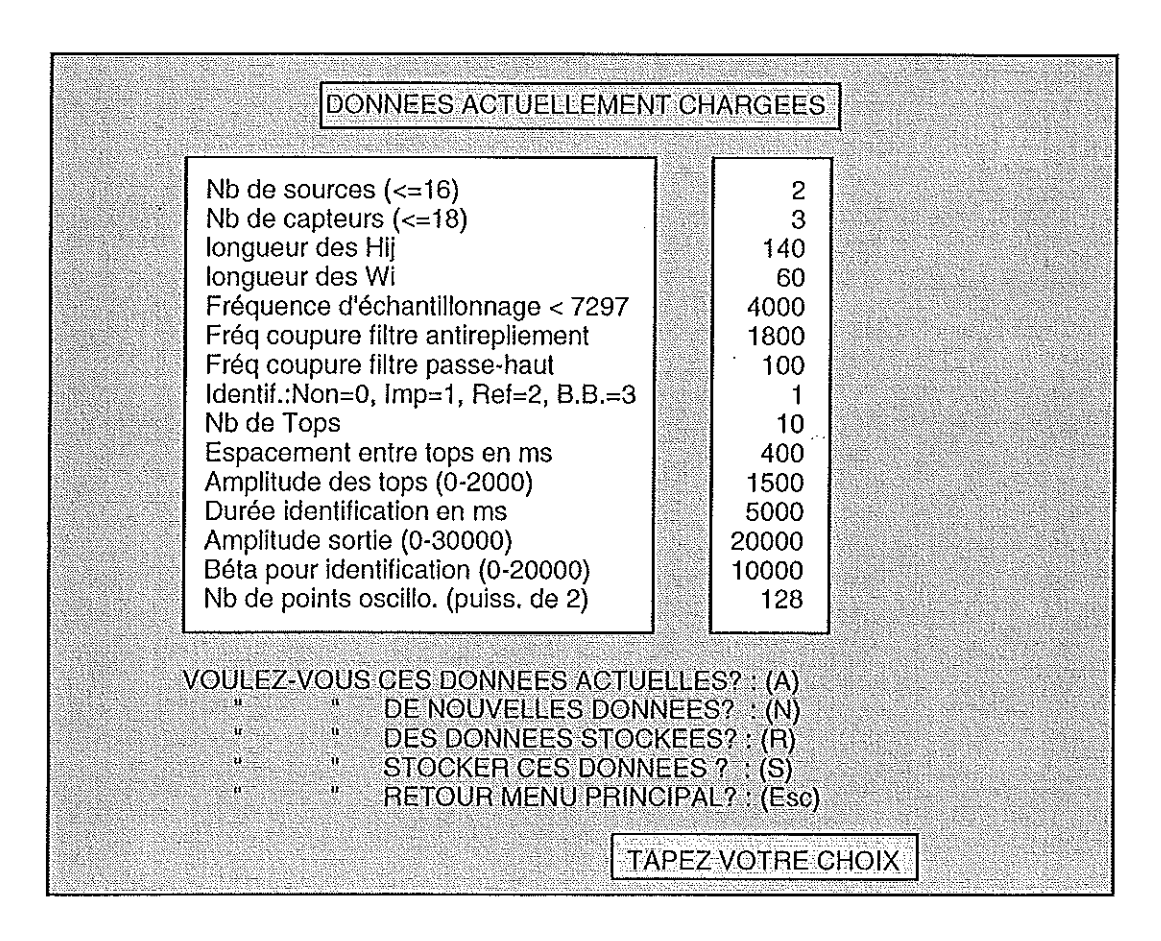


Fig. 4 - Les variables nécessaires à l'algorithme LMS

Il propose à l'utilisateur de lancer le système soit avec ces données (tapez A), soit avec de nouvelles données (tapez N) ou avec des données précédemment stockées dans un fichier (tapez R). Le stockage éventuel de données s'effectue en tapant la touche S et en donnant un nom de fichier[1].

---

[1] Il est à noter que le système garde en mémoire **automatiquement** les derniers paramètres choisis par l'utilisateur.

- Le nombre de sources de contre-bruit utilisées peut varier de 1 à 16, celui de capteurs d'erreurs de 1 à 18[1].

- Il est nécessaire de connaître le nombre de points des réponses impulsionnelles des trajets secondaires (NH) ainsi que celui des coefficients de l'algorithme de minimisation (NW). Pour garder sa pleine efficacité à l'algorithme de minimisation, il faut avoir une bonne connaissance de la réponse impulsionnelle des trajets secondaires. Suivant la configuration demandée, on peut choisir jusqu'à 300 points pour NH. Le nombre des coefficients NW à utiliser, est fonction des signaux à traiter : fréquences pures ou bruit large bande.

- L'utilisateur choisit la fréquence d'échantillonnage en fonction de l'application ainsi que les fréquences de coupure des filtres passe-bas et des filtres passe-haut[2].

- L'identification des réponses impulsionnelles peut être obtenue à l'aide d'impulsions, à l'aide d'un signal de référence ou en utilisant un bruit blanc. Si l'identification a préalablement été effectuée, la minimisation peut être lancée sans la demander.

La méthode par impulsions consiste à envoyer une impulsion brève sur chaque source de contre-bruit et à mesurer la réponse obtenue sur chaque capteur d'erreur. Pour améliorer le rapport signal sur bruit, on fait une moyenne à partir d'un certain nombre d'impulsions[3]. Ces impulsions doivent être séparées d'un délai supérieur au plus long temps de réponse du système[4]. L'amplitude des impulsions doit être choisie de manière à ne pas saturer les signaux d'entrée dont le réglage a été fait au préalable sur le bruit primaire[5]. Les trois derniers paramètres du menu : durée de l'identification, amplitude de sortie et béta pour identification, concernent uniquement les méthodes d'identification par bruit blanc et avec signal de référence. Dans ces deux méthodes, un signal (bruit blanc ou signal présent sur l'entrée de référence) est envoyé successivement dans chaque source secondaire pendant une durée déterminée par le paramètre "durée de l'identification" avec une amplitude proportionnelle au paramètre "amplitude de sortie". Les réponses sont identifiées à l'aide d'un algorithme récursif de type moindres carrés dont le coefficient d'adaptation est fixé par le paramètre "béta pour identification".

- La fonction oscilloscope permet de visualiser sur le PC des tranches successives de signal d'entrée, en fonction du nombre de points[6] choisi dans le menu (de 2 à 256).

---

1 La voie du signal de référence n'est pas comprise dans ce nombre.
2 Les filtres passe-haut sont situés dans le boîtier de conditionnement.
3 Nombre de tops.
4 Espacement entre les tops.
5 Amplitude des tops.
6 Il doit être une puissance de 2 (2^1 à 2^8).

Si l'utilisateur choisit de modifier les données proposées (touche n ou N), la fenêtre du bas est remplacée par celle-ci :

LA FREQUENCE MAXI DOIT ETRE : xxx
Tous les paramètres sont des entiers
Déplacement par les flèches puis ENTER
Tapez F1 pour de l'aide
Tapez ESC pour sortir

Elle indique la fréquence d'échantillonnage maximale à laquelle on peut travailler avec les paramètres précédemment choisis. On peut ensuite placer le curseur à l'emplacement désiré et taper la nouvelle valeur de la variable, puis valider à l'aide de la touche ENTER. Une fois tous les paramètres déterminés, on utilise la touche ESC pour continuer. Si on ne désire rien modifier, on utilise tout de suite la touche ESC.

Dans le cas où la combinaison des quatre paramètres suivants :

- NM : nombre de capteurs d'erreur,
- NH : nombre de points des réponses impulsionnelles (longueur des H_{ij}),
- NW : nombre de coefficients du filtre (longueur des W_i),
- Fe : fréquence d'échantillonnage,

ne convient pas, le PC affiche la fenêtre suivante :

FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE TROP ELEVEE
Fe ne doit pas dépasser xxx Hz
Tapez F1 pour de l'aide
Tapez ESC pour sortir

On a alors la possibilité, soit de diminuer la fréquence d'échantillonnage, soit de modifier un des autres paramètres (NM, NH ou NW). On peut pour ce faire, utiliser la fonction AIDE. Cette fonction est valide pour les quatre paramètres suivants : nombre de capteurs (NM), nombre de points des réponses impulsionnelles (NH), nombre de coefficients du filtre (NW) et fréquence d'échantillonnage (Fe). On place le curseur sur le paramètre dont on désire connaître les possibilités[1]. En utilisant la touche de fonction F1, l'ordinateur affiche la valeur maximale admissible par le système en tenant compte des autres paramètres choisis.

Cette fonction AIDE est aussi accessible dès l'apparition du menu "Données actuellement chargées".

---

[1] Il faut préalablement avoir déterminé les trois autres paramètres.

Si le choix de la fréquence de coupure ne respecte pas le critère de SHANNON[1], le PC affiche un message d'erreur. Il faut alors soit augmenter la fréquence d'échantillonnage, soit diminuer la fréquence de coupure des filtres antirepliements[2].

Dans le cas d'une identification avec signal de référence ou avec bruit blanc, ces méthodes sont plus longues que la méthode par impulsions. Si les paramètres choisis par l'utilisateur, sont trop élevés, le PC affiche le message suivant :

```
FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE TROP ELEVEE
LORS DE L'IDENTIFICATION
Réduire NH ou faire Fe < xxx
ou identifier par impulsions
Tapez ESC pour sortir
```

Il donne la fréquence d'échantillonnage maximale que le système supporte, en tenant compte du type d'identification choisi et du nombre de points des réponses impulsionnelles demandé. L'utilisateur peut alors soit réduire la fréquence d'échantillonnage, soit diminuer le nombre de points des réponses impulsionnelles ou bien choisir la méthode d'identification par impulsions.

Pour les identifications avec signal de référence ou avec bruit blanc, le PC peut aussi afficher le message suivant :

```
L'IDENTIFICATION SE FERA EN 2 PASSAGES
car Fe > xxx
Faire ENTER pour retour menu
```

Le système va effectuer l'identification en deux fois : tout d'abord, il procède à l'identification sur la première moitié des capteurs d'erreur, puis à celle sur le reste des capteurs. La durée d'une identification sera donc, dans ce cas là, égale au double de la valeur choisie par le paramètre "durée identification en ms". Le PC affiche aussi la fréquence d'échantillonnage maximale admise par le système si l'on désire un seul passage.

1 Fc=Fe/2.

2 Pour éviter tout phénomène de repliement, il est préférable de choisir Fe = 3 Fc

Si l'utilisateur décide de ne pas effectuer d'identification[1] et si celle-ci n'a pas été préalablement faite, le PC affiche le message suivant :

IDENTIFICATION OBLIGATOIRE

METTRE IDENTIF à 1, 2 ou 3

Dans le cas où l'identification a été faite et si l'utilisateur modifie un des paramètres influençant[2] cette identification, le PC affiche le message suivant :

LES DONNÉES ONT ÉTÉ MODIFIÉES DEPUIS
LA DERNIÈRE IDENTIFICATION
Mettre identif à 1, 2 ou 3

ATTENTION : Quand le nombre de sources (NS) est modifié, il faut penser à procéder à l'identification des sources supplémentaires à l'aide du menu "identifier une voie particulière".

Le seul paramètre modifiable sans aucun changement pour l'identification, est le nombre de coefficients du filtre (NW).

Une fois toutes ces données correctement choisies, l'ordinateur calcule toutes les variables internes du système et les envoie aux processeurs concernés. Il programme le *timer* du processeur maître et calcule le facteur de décimation en fonction de la fréquence d'échantillonnage demandée. Il programme aussi les filtres de lissage des sorties et calcule les coefficients des filtres numériques antirepliements.

Le chargement des programmes et des données associées se fait après la validation des variables précédemment demandées.

Il apparaît alors le menu principal (Fig. 5).

---

1 Identif = 0.

2 Nombre de microphones, nombre de points des réponses impulsionnelles, fréquence d'échantillonnage, fréquence de coupure des filtres antirepliements ou fréquence de coupure des filtres passe-haut.

III.2 - MENU PRINCIPAL

MENU PRINCIPAL

CHANGER OU VISUALISER LES DONNEES :	(C)
IDENTIFIER LES TRAJETS SECONDAIRES :	(I)
EXECUTER LE PROGRAMME :	(E)
COUPER REMETTRE L'ANTI-BRUIT :	TAB
FIGER L'ADAPTATION :	(A)
REGLER LES GAINS :	(G)
VISUALISER LES SIGNAUX :	(V)
REGLAGE HARDWARE :	(H)
QUITTER :	(Q)

ENTREZ VOTRE CHOIX

PROGRAMMES CHARGES
Béta = 0

Fig. 5 - Menu principal

Une fenêtre spéciale affiche l'état du système (programmes chargés, minimisation en cours, antibruit coupé, larsen, ...) et la valeur du coefficient de convergence β.

Outre le réglage des gains et l'identification des trajets secondaires qui seront décrits plus loin, l'utilisateur a accès à un certain nombre de fonctions :

- il peut retourner au menu précédent pour modifier les données ou simplement les consulter (touche c ou C).

- pendant le déroulement de l'algorithme, il peut :

• couper ou remettre l'antibruit, afin de juger de son efficacité (touche TABULATION) ;

• stopper momentanément l'adaptation des filtres correcteurs (touche A ou a) en figeant leurs coefficients[1], ce qui peut être utile pour modifier certains éléments du système ou mesurer les performances du contrôle ;

• visualiser les différents signaux de référence et de capteurs d'erreurs (touche V ou v) (cf § III.5).

Les fonctions apparaissant en gris, ne sont pas valides. Par exemple, la fonction "exécuter le programme" ne devient valide qu'après l'identification de toutes les voies terminée. Les deux fonctions "couper-remettre l'anti-bruit" et "figer l'adaptation" sont valides seulement quand l'exécution de l'algorithme de minimisation est lancée.

La fonction "réglage hardware" est réservée au test et à la maintenance du système. On ne peut y accéder que par un mot de passe.

III.3 - RÉGLAGE DES GAINS

Avant toute utilisation du système, il est important de régler le niveau des entrées en fonction du bruit à traiter. Pour ce faire, le menu principal propose une fonction "régler les gains" (Fig. 6) qui permet la programmation des amplificateurs du conditionneur.

L'affichage est de type "bargraphe" et présente en temps réel le niveau enregistré sur chaque entrée utilisée. Le niveau absolu ou relatif en dB de l'entrée concernée est affiché au dessus de chaque bargraphe. L'utilisateur peut régler les gains manuellement à l'aide des touches suivantes :

- home : le curseur se positionne sur la voie de référence ;
- end : le curseur se positionne sur la dernière entrée, en tenant compte du nombre de capteurs choisi ;
- pgup : le curseur remonte sur la première ligne, sans changer de colonne ;
- pgdn : le curseur descend sur la deuxième ligne, sans changer de colonne ;
- -> : la flèche à droite permet de déplacer le curseur vers la droite ;
- <- : la flèche à gauche permet de déplacer le curseur vers la gauche ;
- $\downarrow$: la flèche vers le bas permet de diminuer d'une valeur[2], le gain de l'entrée sur laquelle est positionné le curseur ;
- $\uparrow$: la flèche vers le haut permet d'augmenter d'une valeur, le gain de l'entrée sur laquelle est positionné le curseur ;

[1] L'utilisation de la fonction "figer l'adaptation" correspond à mettre β à zéro. Par conséquent les coefficients w ne varieront plus.

[2] Les différentes valeurs possibles sont : 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 et 128.

- ALT+↓ : permet de diminuer d'une valeur, le gain de toutes les entrées en fonctionnement ;

- ALT+↑ : permet d'augmenter d'une valeur, le gain de toutes les entrées en fonctionnement.

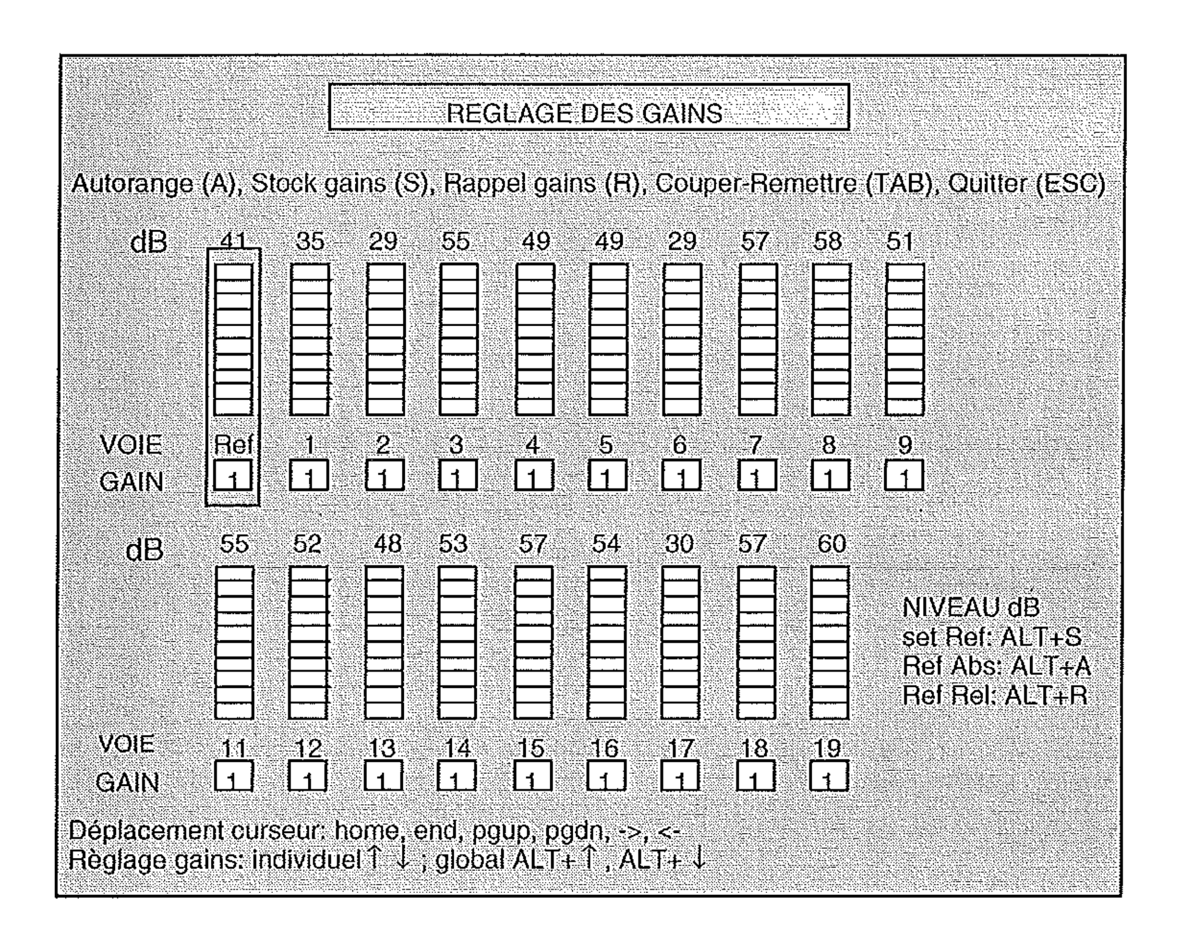


Fig. 6 - Le réglage des gains

Les gains peuvent aussi être réglés automatiquement en utilisant la touche A (Autorange).

Enfin ils peuvent être stockés (touche S + nom de fichier) et rappelés (touche R + nom de fichier) ultérieurement.

En cours de minimisation, on peut faire appel à cette fonction "réglage des gains" afin de visualiser les niveaux enregistrés sur les entrées en fonctionnement et ainsi faire apparaître l'effet de la minimisation en utilisant la touche TAB[1] (couper-remettre l'antibruit).

Il est possible d'avoir une idée de l'atténuation obtenue au niveau de chaque microphone d'erreur, en procédant comme suit :

[1] Il s'agit de la touche tabulation (->/ et /<-).

- la fonction "set Ref" (ALT+S) permet de mémoriser à un instant donné les niveaux enregistrés sur chaque microphone[1] ;

- la fonction "Ref Rel" (ALT+R) ou référence relative fait apparaître la différence entre le niveau mémorisé et le niveau actuel[2] ;

- la fonction "Ref Abs" (ALT+A) ou référence absolue permet le retour à l'état initial.

Pour retourner au menu principal, il faut utiliser la touche ESC.

III.4 - IDENTIFICATION DES TRAJETS SECONDAIRES

L'exécution d'un programme ne peut se faire sans avoir préalablement identifié les trajets secondaires.

Ce sous-menu (Fig. 7) rappelle à l'utilisateur la méthode d'identification choisie. Il offre la possibilité d'identifier toutes les voies successivement (touche I ou i) ou bien seulement une voie particulière (touche P ou p) dans le cas où l'identification de cette dernière n'est pas été satisfaisante.

Si l'utilisateur choisit : "IDENTIFIER UNE VOIE PARTICULIÈRE", le PC lui demande : "QUELLE VOIE?", il désire identifier. Une fois l'identification terminée, le PC affiche : "VOIE xx IDENTIFIÉE".

Les réponses impulsionnelles peuvent être stockées (touche S ou s) et réutilisées ultérieurement (touche R ou r). Lors de l'utilisation d'une de ces deux fonctions, le PC demande le nom du fichier et affiche, quand l'opération est terminée, l'un des deux messages suivants : "Les H_{ij} sont stockés" ou "les H_{ij} sont chargés". Lors du rappel de réponses impulsionnelles sauvegardées dans un fichier, le PC vérifie que la configuration dans laquelle a eu lieu l'identification, corresponde à celle actuellement en cours dans le menu "Données actuellement chargées". Dans le cas contraire, un message d'erreur apparaît.

Avant de procéder à l'identification des trajets secondaires, il est nécessaire de régler le niveau des amplificateurs des sources secondaires ainsi que l'amplitude des signaux de sortie servant à cette identification[3]. Pour ce faire, on utilise la fonction "Réglage des gains" (touche G ou g) du menu "Identification". Le PC demande quelle source on désire régler, et envoie sur celle-ci le signal d'identification (impulsions, bruit blanc ou signal de référence) en

---

[1] Enregistrez les niveaux d'entrée sans anti-bruit.

[2] Pendant la minimisation, on peut donc visualiser l'atténuation obtenue.

[3] Amplitude des tops ou Amplitude sortie du menu "Données actuellement chargées".

continu tout en visualisant[1] les niveaux enregistrés sur les entrées et ceci jusqu'à ce qu' on utilise la touche ESC pour sortir. Cette fonction a pour but de régler tous les niveaux[2] avant de lancer l'identification et ainsi d'éviter la saturation des sorties.

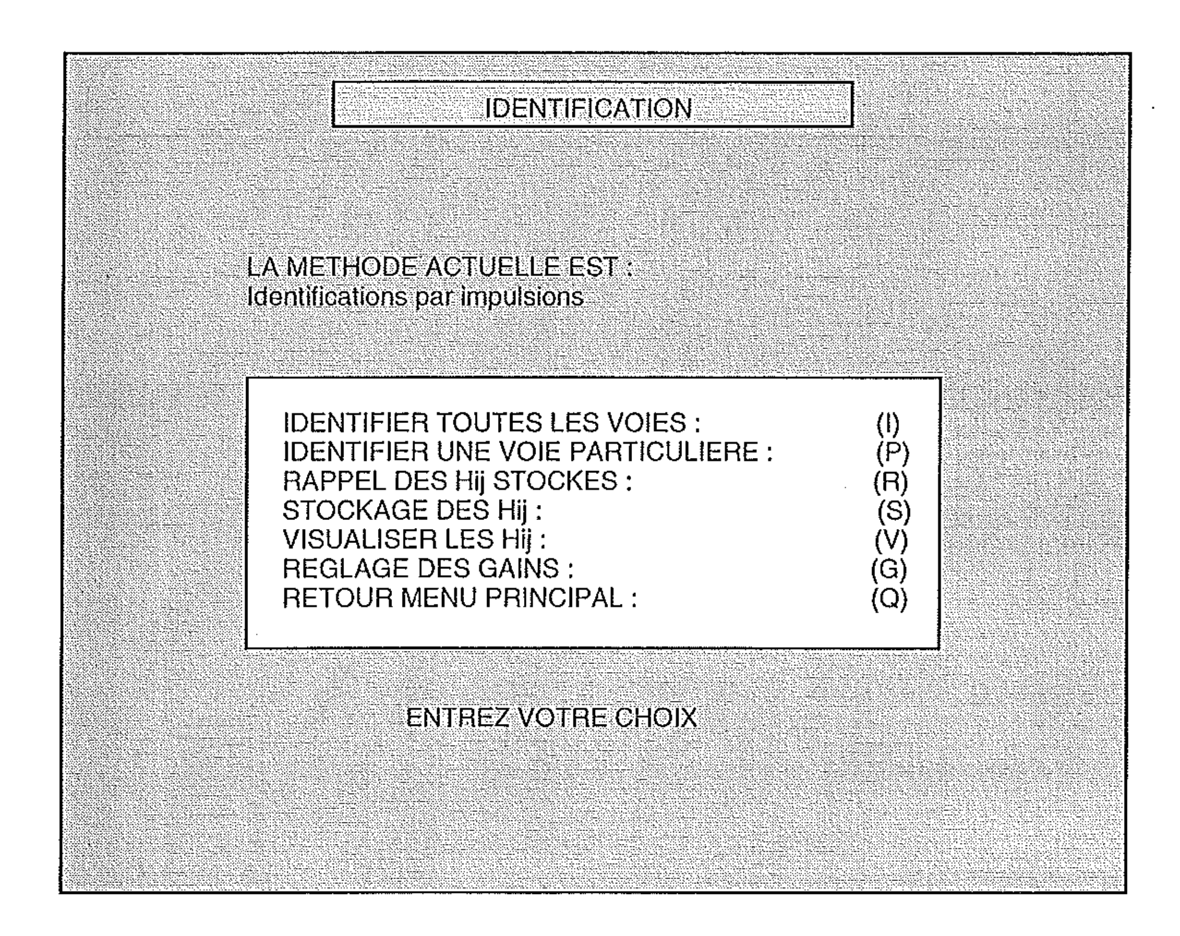


Fig. 7 - Identification des réponses impulsionnelles

Pendant la phase d'identification, l'ordinateur affiche, à l'aide du sous menu "réglage des gains", les niveaux des signaux enregistrés sur chaque capteur d'erreur au fur et à mesure de l'identification de chaque source secondaire et permet ainsi de vérifier le bon déroulement de cette identification.

Une fois les identifications terminées, il visualise les réponses impulsionnelles obtenues sur tous les microphones pour chaque source ce qui permet de vérifier que le choix des paramètres est convenable (Fig. 8).

Le PC visualise d'abord les réponses impulsionnelles temporelles de la source n° 1 dans le cas où toutes les voies ont été identifiées. Sinon il visualise les réponses impulsionnelles

---

1 A l'aide des bargraphes du menu "Réglage des gains" du menu principal.

2 ATTENTION, vous ne devez pas modifier le réglage des amplificateurs d'entrées, celui-ci a été réalisé à partir du bruit primaire en tout début de session et ne doit plus être modifié.

temporelles de la source qui vient d'être identifiée. Pour changer de source, il faut incrémenter ou décrémenter à l'aide des flèches (-> ou <-) le numéro de la source affiché en haut de l'écran, jusqu'à la valeur désirée et ensuite valider la demande par la touche ENTER.

Dans le cas de réponses d'amplitude faible, il est possible de modifier l'échelle de visualisation en utilisant les touches ↓ ↑. Cette amplitude est affichée en haut à gauche de l'écran.

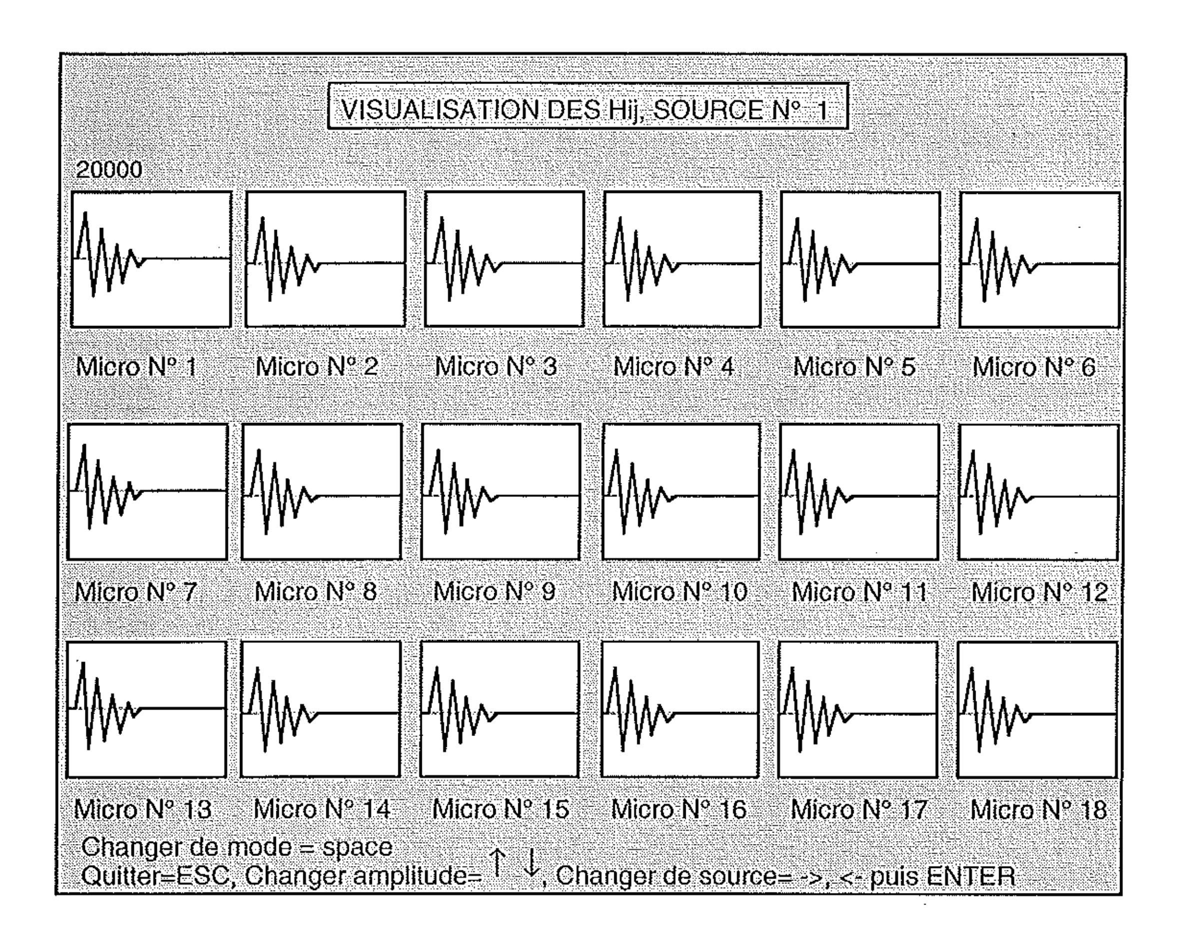


Fig. 8 - Visualisation des réponses impulsionnelles

A titre indicatif, l'utilisateur a la possibilité de visualiser les spectres des réponses impulsionnelles en utilisant la touche espace. La bande de fréquence représentée varie de 0 Hz à Fe/2.

Remarque : Les fréquences non réprésentées ou mal représentées dans ce spectre ne pourront être traitées correctement par l'algorithme de minimisation.

Pour quitter le menu de visualisation, il suffit d'utiliser la touche ESC.

Une fois l'identification réalisée, la minimisation peut être lancée et l'utilisateur peut régler le coefficient de convergence β par le bouton potentiométrique situé sur la face avant du contrôleur.

Commentaire :

Le réglage des amplificateurs des sources secondaires à l'aide des impulsions et la mesure des hij (k) est simple si l'on connaît la manière dont l'algorithme a été programmé.

Le principe est le suivant :

- Une impulsion doit avoir en unité machine une amplitude inférieure à 2047 pour éviter la saturation des convertisseurs de sortie D/A. Cette impulsion doit fournir sur les convertisseurs A/D des voies d'entrée un niveau inférieur à la limite de saturation soit 2047.

Le gain des voies d'entrée ayant été réglé sur le bruit primaire on ne peut plus les toucher. C'est donc en jouant sur le gain des ampli des sources secondaires que l'on doit amener le niveau du contre-bruit a être légèrement supérieur ou égal à celui du bruit primaire.

- Pour l'envoi d'une seule impulsion on doit obtenir des valeurs de coefficients hij(k) comprises entre + ou - 2000. Si certains points des hij(k) avoisinent les +2000 baisser le gain des ampli pour les ramener vers +1500.

- pour l'envoi de N impulsions, l'algorithme somme les mesures des hij(k). Le même raisonnement que ci-dessus s'applique en remplaçant + 2000 par + 2000xN. Il faut néanmoins que la valeur maximum ainsi obtenue ne dépasse pas la capacité machine qui est de +32000. En choisissant 1000 pour l'amplitude des impulsions (ce qui correspond à la moitié de la valeur permise) et 10 pour leur nombre, on arrive dans la majorité des cas à produire des réponses impulsionnelles convenables. On trouvera au chapitre V une méthode générale et systématique du réglage du système.

III.5 - VISUALISATION DES SIGNAUX D'ENTRÉE

En cours de minimisation, il est interressant de visualiser les signaux d'entrée de manière temporelle ou spectrale afin de juger de l'efficacité du contrôle.

Dans le menu principal, la fonction "visualiser les signaux" offre cette possibilité (Fig. 9 et 10).

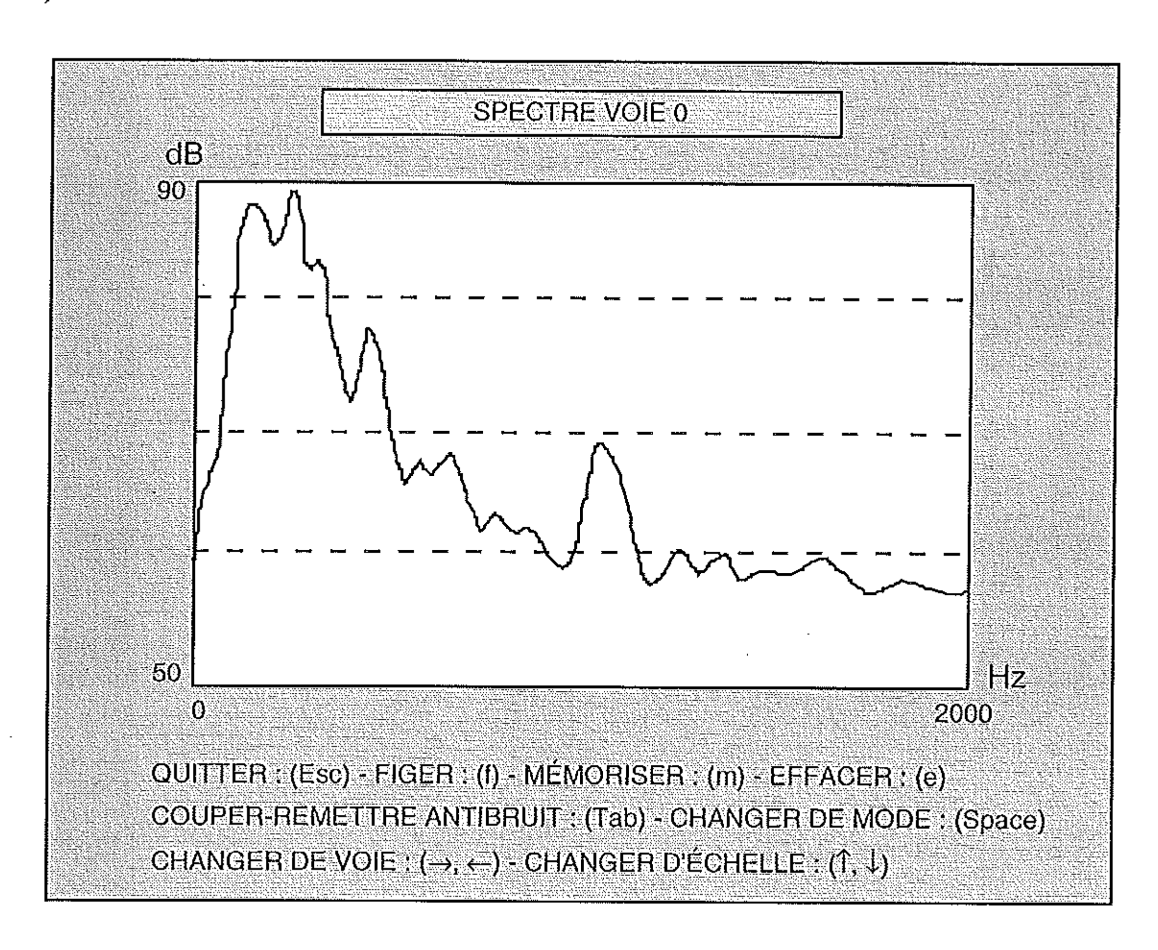


Fig. 9 - Représentation spectrale d'un signal d'entrée.

Il est possible de figer la visualisation des signaux à l'aide de la touche *f*.

Pour comparer les signaux avec et sans minimisation, on peut mémoriser le signal d'entrée sans antibruit à l'aide de la touche *m* puis lancer la minimisation avec la touche TABULATION. La touche *e* permet quant à elle d'effacer le signal mémorisé.

Pour passer de la représentation spectrale à la représentation temporelle et inversement, il faut utiliser la touche ESPACE.

Les flèches à droite et à gauche permettent respectivement d'augmenter ou de diminuer le numéro de la voie visualisée.

Il est aussi possible de modifier l'échelle de visualisation à l'aide des flèches vers le haut et vers le bas. Dans la représentation spectrale des signaux, ces flèches permettent de déplacer la fenêtre de visualisation de 10 dB vers le haut ou vers le bas. Dans la représentation temporelle, elles permettent d'augmenter ou de diminuer d'un facteur 2 l'échelle de visualisation[1].

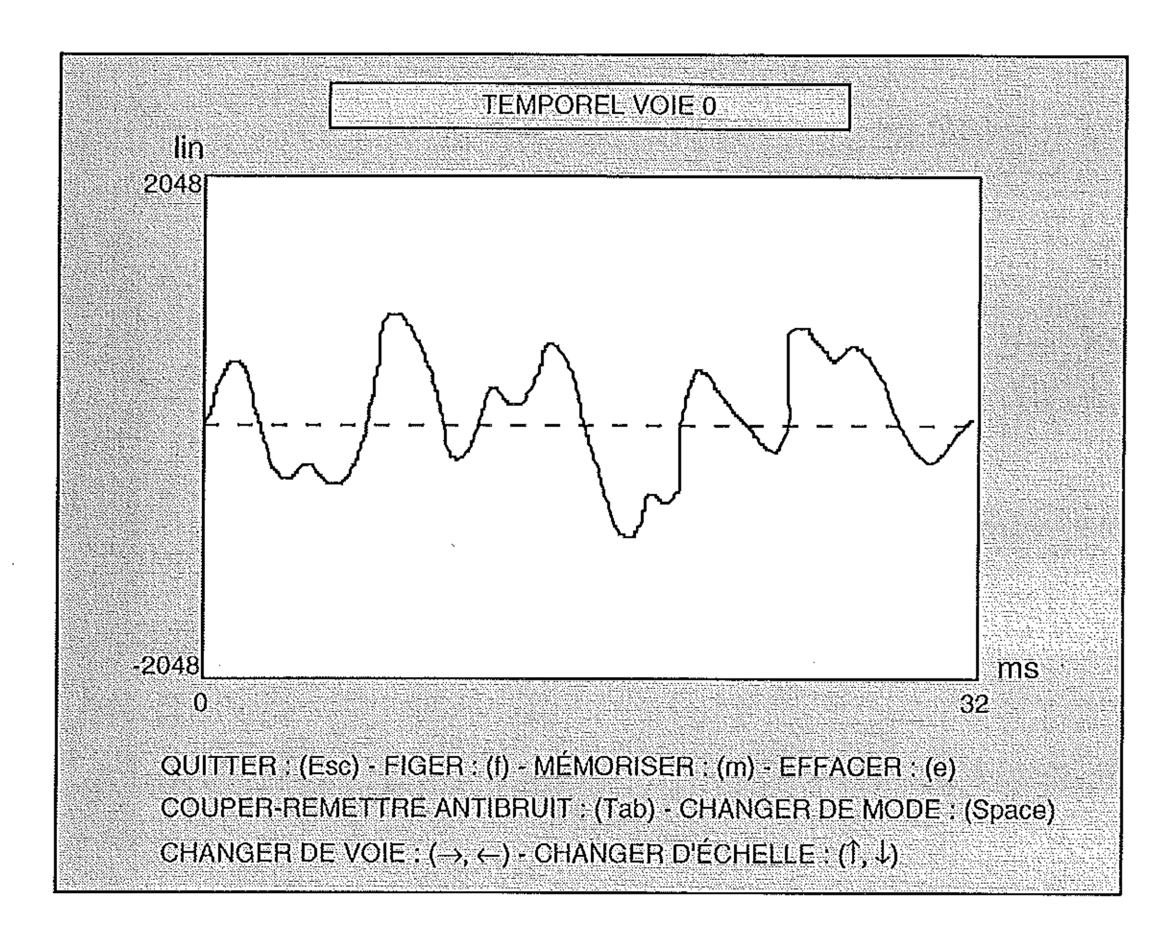


Fig. 10 - Représentation temporelle d'un signal d'entrée.

La touche ESCAPE permet de quitter la fonction "visualiser les signaux".

[1] Maximum ±4096.

IV - MÉTHODOLOGIE

Nous donnons dans ce chapitre un exemple d'application du système COMPARS avec toute la procédure de réglage et de mise au point.

L'exemple choisi est la réduction du bruit d'une machine au voisinage d'un poste de travail (fig. 11) mais toute autre application acoustique ou vibratoire nécessitera une procédure similaire.

IV.1 - MONTAGE PHYSIQUE

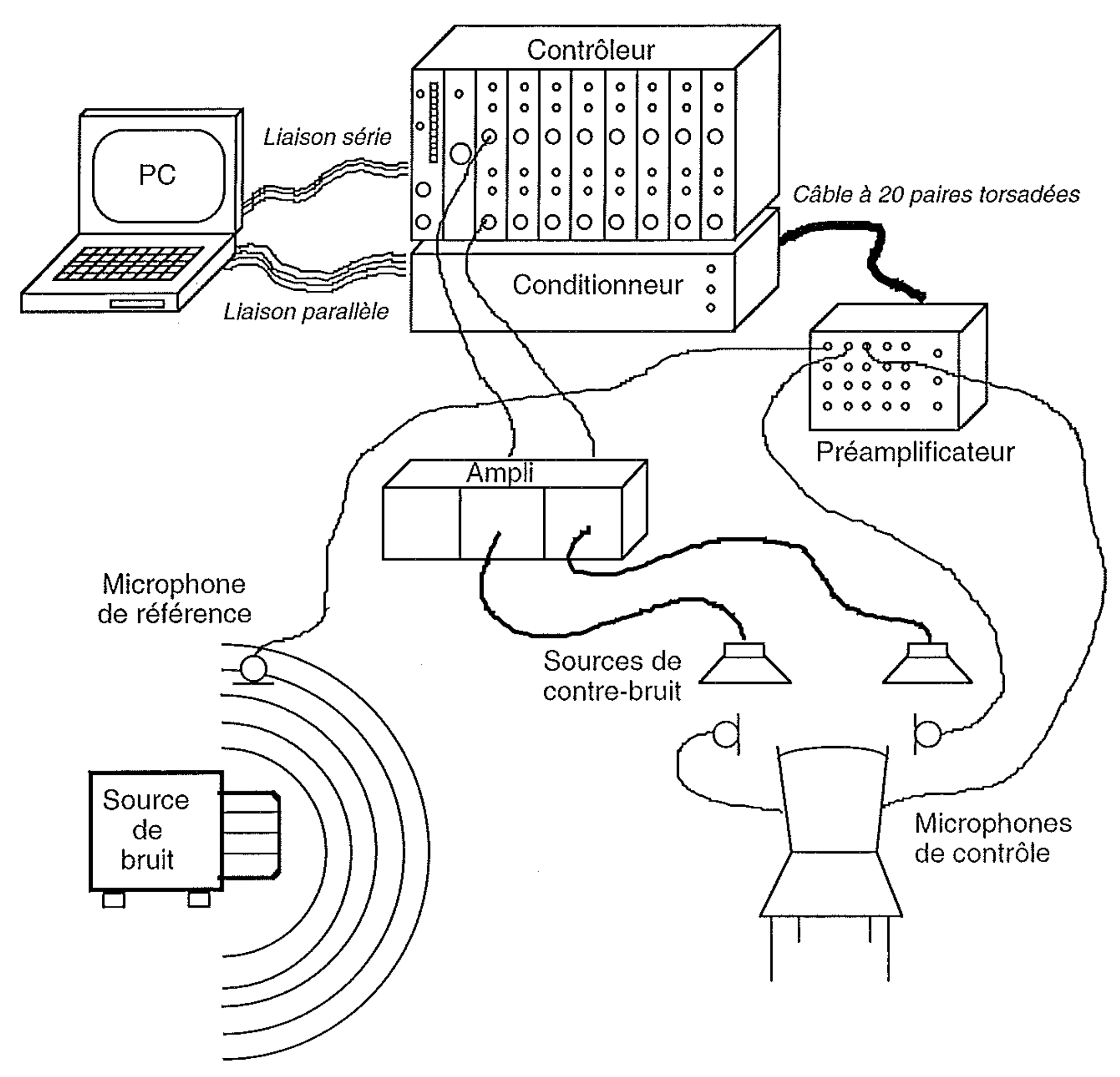


Fig.11 - Montage

- 2 microphones sont placés au voisinage de la zone à protéger et reliés aux entrées 2 et 3 du boîtier de préamplification ;

- 2 haut-parleurs sont également placés au voisinage de la zone traitée et doivent avoir une bande passante compatible avec les composantes spectrales du bruit à traiter. Leur ampli est relié aux voies de sortie analogiques 1 et 2 du contrôleur ;

- Le signal de référence peut être, soit un microphone placé au voisinage de la source de bruit et peu sensible au rayonnement des H.P., soit un signal TTL délivré par un tachymètre dans le cas de machines tournantes. Dans le premier cas, le signal est envoyé sur l'entrée 1 du préamplificateur. Dans le cas d'un signal TTL, il sera envoyé sur la première entrée BNC, située à l'arrière du conditionneur[1]. Pour permettre une bonne minimisation, le signal de référence doit satisfaire à 3 conditions essentielles :

1°) Il doit être parfaitement corrélé avec le bruit mesuré par les capteurs de contrôle (ici les 2 microphones).

Une mesure de cohérence avec un analyseur du spectre est souhaitable pour s'en assurer.

2°) Il doit posséder, pour toutes les fréquences que l'on veut traiter, un niveau suffisant car les composantes du bruit mal représentées dans le signal de référence seront peu minimisées.

3°) Il doit être peu ou pas sensible au rayonnement des sources secondaires afin d'éviter des instabilités dues au feedback. (L'utilisation d'un microphone directif est souvent suffisante pour remédier à ce problème).

Connecter ensuite les différents éléments du système, puis mettre sous tension le PC, le préamplificateur, le contrôleur et en dernier le conditionneur[2].

[1] Il faut penser à vérifier la position du commutateur de la carte de référence et atténuer le signal de façon à ne pas dépasser le niveau maximum d'entrée du conditionneur (±1,5V).

[2] Quand vous arrêtez le système, il est préférable d'éteindre d'abord le conditionneur puis le contrôleur.

IV.2 - CHOIX DES PARAMÈTRES

- Lancer le programme COMPARS.

A la première question, taper N ou n pour avoir de nouvelles données.

Les données dépendent évidemment de l'application. Cela suppose une connaissance du spectre du bruit (ou de la vibration) à traiter. Choisir une fréquence de coupure Fc des filtres anti-repliement supérieure à la fréquence maximale à traiter et une fréquence d'échantillonnage Fe égale à 3 fois Fc sans oublier que le traitement actif est avant tout efficace aux basses fréquences.

Choisir NH et NW en fonction de Fe et des considérations données au chapitre III.

Dans l'exemple présenté ici et en supposant un bruit de machine comportant 10 raies s'étalant de 50 à 500 Hz un choix possible des paramètres pourrait être :

Nb de sources=2, Nb de capteurs=2, longueur des H_{ij}=100, longueur des W_i=30, fréquence d'échantillonnage=1800, Fréquence de coupure des filtres antirepliements=600, Identif=1[1], Nb de tops=10, espacement entre les tops en ms=400 et amplitude des tops=1000.

- Il existe beaucoup d'autres possibilités de choix et seuls des essais répétés permettront de déterminer les meilleurs.

- Valider ces données en tapant ESC. Apparaît alors le menu principal.

IV.3 - RÉGLAGE DES NIVEAUX D'ENTRÉE

La machine responsable du bruit gênant étant en fonctionnement, régler à l'aide de la fonction "régler les gains", le niveau d'entrée de la voie de référence et des 2 microphones de manière à ce que les 3/4 ou 4/5 environ des leds des bargraphes soient vertes[2]. Ce réglage ne devra plus être changé par la suite.

Couper la source de bruit.

---

[1] Il s'agit de la méthode par impulsions.

[2] Vous pouvez utiliser la fonction AUTORANGE.

IV.4 - IDENTIFICATION DES $H_{IJ}(K)$

Les amplis des H.P. étant allumés, mettre le bouton β à zéro et appeler le sous-menu "identification".

Dans celui-ci, choisir d'abord la fonction "réglage des gains". Le programme envoie alors des impulsions en continu sur la voie demandée.

Procéder au réglage des amplis des sources secondaires de manière à ce que les impulsions ne saturent pas les entrées ou ne soient pas trop faibles[1].

Si certaines valeurs sont très inférieures ou dépassent les valeurs limites[2], régler en conséquence le gain des ampli (mais pas le gain d'entrée des voies).

Une fois le réglage des amplis réalisé, quitter cette fonction en tapant la touche ESC.

On peut maintenant procéder à l'identification des trajets secondaires à l'aide de la fonction "identifier toutes les voies". Le programme envoie alors séquentiellement sur chaque voie un nombre d'impulsions correspondant au "Nb de tops" (ici 10). Pendant toute la durée de l'identification, le PC affiche les niveaux enregistrés sur chaque entrée, ceci permettant de suivre le bon déroulement de l'opération.

Quand l'identification est terminée, le PC visualise les réponses impulsionnelles obtenues pour la première source de contre-bruit. Vérifier que celles-ci sont correctes. Faite de même pour la deuxième source, en incrémentant le numéro de source avec la flèche ↑ afin de visualiser les réponses impulsionnelles de cette source.

Si une des réponses impulsionnelles n'est pas satisfaisante, refaite cette identification à l'aide de la fonction "identifier une voie particulière".

On peut relancer autant de fois que nécessaire l'identification.

Une fois obtenus un réglage satisfaisant et une identification correcte, la minimisation est prête à commencer.

- choix de β

Pour démarrer la minimisation il suffit d'augmenter β après avoir demandé l'exécution du programme.

Procéder lentement afin d'éviter une éventuelle divergence.

Dès qu'une minimisation satisfaisante est obtenue, laisser β dans sa position.

---

[1] L'utilisateur peut aussi jouer sur le choix de l'amplitude des impulsions en utilisant la fonction "changer ou visualiser les données" du menu principal.

[2] Les bargraphes deviennent complètement rouges.

Le système est alors apte à suivre toute variation du bruit primaire à condition de rester dans la dynamique des voies d'entrée. Dans le cas contraire, il suffira de procéder à un nouveau réglage et de relancer le programme.

ANNEXE A

ALGORITHME LMS

I - PRINCIPE

Nous exposons ici un exemple d'application acoustique mais il est évident que la transposition au domaine vibratoire est immédiate.

Supposons que l'on désire réduire en M points notés Mj où sont placés des microphones de contrôle, un bruit produit par une source primaire S. On dispose pour cela de P haut-parleurs placés en des points notés Pi (Fig. 1).

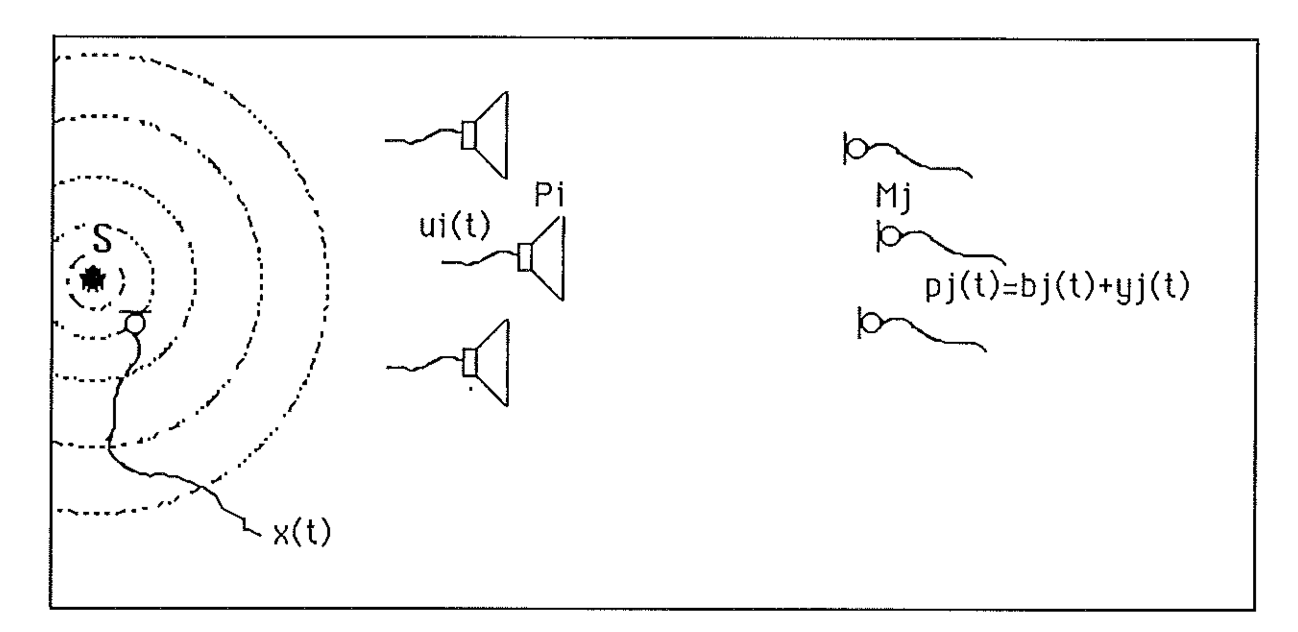


Fig. 1 - Application acoustique

- Soit $p_j(t)$ le signal électrique issu du capteur j. $p_j(t)$ est la somme de $b_j(t)$ produit par la source de bruit primaire et de $y_j(t)$ produit par les sources secondaires ;

- Soit x(t), appelé signal de référence, un signal caractéristique du bruit à traiter et dont on suppose qu'il est parfaitement corrélé avec les signaux $b_j(t)$. On suppose également que x(t) n'est pas ou peu sensible au bruit rayonné par les sources secondaires ;

- Soit $u_i(t)$ le signal de commande de la source i ;

- Soit $h_{ij}(t)$ la réponse impulsionnelle entre le signal $u_i(t)$ et $y_j(t)$. $h_{ij}(t)$ caractérise entièrement le trajet électroacoustique de la source secondaire Pi vers le capteur Mj.

L'algorithme L.M.S. suppose connue la matrice, de dimension [M,P], des réponses impulsionnelles. Nous verrons dans les paragraphes suivants comment le système COMPARS les mesure.

Le principe de l'algorithme L.M.S. est de filtrer par P filtres numériques de réponse impulsionnelle finie (F.I.R.) notés $w_i(t)$ le signal x(t) pour obtenir les $u_i(t)$.

En considérant des signaux échantillonnés, on peut schématiser le système précédent par la représentation suivante (Fig. 2) :

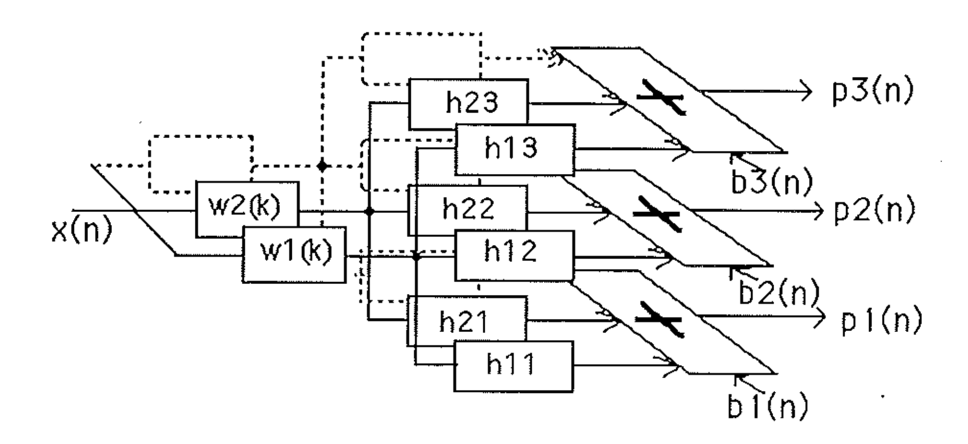


Fig. 2 - Représentation schématique du système

Avec les relations :

$$j = 1 \text{ à } M \quad \left\{ p_j(n) = b_j(n) + \sum_{i=1}^{P} h_{ij} * u_i = b_j(n) + \sum_{i=1}^{P} \sum_{k=0}^{NH-1} h_{ij}(k) \, . \, u_i(n-k) \right.$$

$$i = 1 \text{ à } P \quad \left\{ u_i(n) = w_i * x(n) = \sum_{k=0}^{NW-1} w_i(k) \, . \, x(n-k) \right.$$

On suppose que les réponses $h_{ij}(k)$ sont représentées par des FIR de longueur NH et les $w_i(k)$ par des FIR de longueur NW. Le calcul des coefficients $w_i(k)$ des filtres qui vont permettre la minimisation des signaux $p_j(n)$, se fait en écrivant que la somme sur les M capteurs de la pression quadratique est minimale. On obtient alors [1] une formule récurrente extrêmement simple du calcul des $w_i(k)$:

$$i = 1 \text{ à } P;\ k=0 \text{ à } NW-1 \left\{ w_i^{(n)}(k) = w_i^{(n-1)}(k) - 2.\beta \sum_{j=1}^{P} p_j(n) \,.\, r_{ij}(n-k) \right. \qquad (1)$$

$$\text{avec: } r_{ij}(n) = h_{ij} * x(n) = \sum_{k=0}^{NH-1} h_{ij}(k) \,.\, x(n-k) \qquad (2)$$

- $r_{ij}(n)$ est appelée référence filtrée ;

- β est un coefficient qui gouverne la rapidité de convergence de l'algorithme vers la solution optimale des $w_i(k)$.

II - CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'ALGORITHME L.M.S.

Les formules (1) et (2) montrent que le nombre d'opérations à effectuer par le système entre 2 tops d'échantillonnage est proportionnel au nombre de voies et au nombre de coefficients des filtres $h_{ij}(k)$ et $w_i(k)$.

Il existe évidemment une limite au nombre d'opérations que peut effectuer un microprocesseur dans ce laps de temps et il est donc important de limiter au plus juste le choix de certains paramètres :

1°) Fréquence d'échantillonnage

Elle fixe la période d'échantillonnage ΔT, c'est-à-dire le temps pendant lequel doivent être effectués les calculs. On la limitera dans les cas difficiles à 2 ou 3 fois la fréquence maximale à traiter.

2°) Longueur des filtres $h_{ij}(k)$

Pour une bonne convergence de l'algorithme et une bonne aptitude à suivre des fluctuations du bruit à traiter, les réponses impulsionnelles échantillonnées $h_{ij}(k)$ doivent être représentatives des véritables réponses impulsionnelles $h_{ij}(t)$. Cela suppose que le produit

NH.ΔT corresponde à une durée suffisante pour inclure la partie la plus significative des réponses impulsionnelles. A partir d'une estimation ou d'une mesure de ces réponses impulsionnelles, et en fonction de ΔT on pourra déterminer NH (Fig. 3).

Un avantage de l'algorithme L.M.S. est sa robustesse. Cela signifie que pour des réponses impulsionnelles mal estimées ou susceptibles de légèrement varier dans le temps, à cause de modifications physiques du montage, l'algorithme peut encore converger vers la bonne solution. Cela permet en particulier de tronquer $h_{ij}(t)$ juste après sa partie la plus significative et de négliger les faibles oscillations qui apparaissent vers la fin d'une réponse impulsionnelle physique.

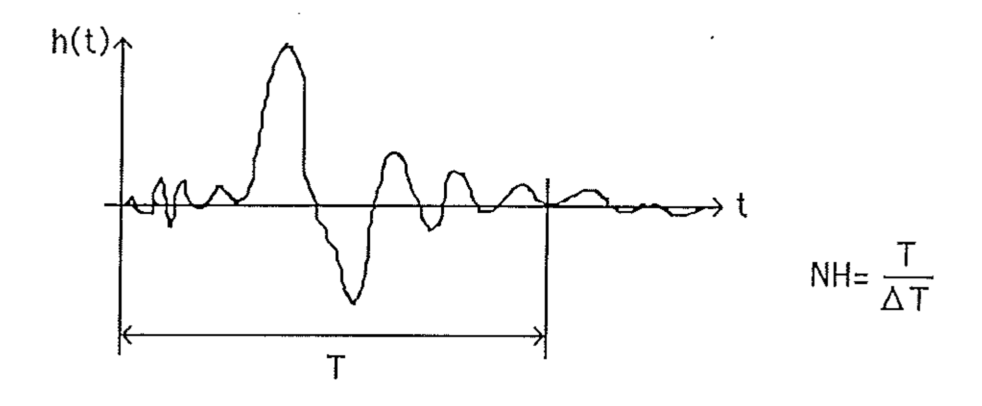


Fig. 3 - Détermination de NH

Une propriété essentielle des sources secondaires dans un système de contrôle actif est de pouvoir produire sur les capteurs de contrôle un bruit égal et opposé à celui à minimiser.

La position des sources et le gain de leur amplificateur doivent donc être déterminés de façon à satisfaire ce critère. Si par exemple, pour une fréquence particulière du bruit à traiter, les sources sont incapables de produire, sur un des micros, un niveau équivalent à celui du bruit primaire, il y a risque de divergence de l'algorithme qui va calculer des signaux de commande $u_i(n)$ de niveau supérieur à la limite de la tension de sortie maximale du système.

- Mesure des $h_{ij}(k)$

Avant le lancement de l'algorithme LMS, il faut commencer par identifier les $h_{ij}(k)$. L'identification se fait en envoyant successivement dans chaque voie de sortie une série d'impulsions de largeur ΔT et d'amplitude programmable. Le système mesure alors la réponse sur chacune des voies d'entrée. Afin d'améliorer le rapport signal/bruit, la moyenne temporelle des réponses de plusieurs impulsions est effectuée. Une dizaine est en général suffisante (nombre de tops).

3) Longueur des $w_i(k)$

La longueur NW des filtres $w_i(k)$ est fonction du spectre du bruit à traiter.

- Pour un spectre de raies, il faut en principe deux points par fréquence à traiter. (On en utilise généralement un peu plus).

- Pour un spectre large bande, la longueur du filtre est fonction de l'expérimentation . On tachera de choisir NW le plus grand possible compte tenu des limites du système.

La souplesse du logiciel COMPARS pour changer les valeurs des paramètres de l'algorithme et tester immédiatement leur effet sur la minimisation s'avère un outil très puissant pour la détermination de NW ou des autres coefficients.

4) Choix du signal de référence

On a vu que ce signal doit être parfaitement corrélé avec le bruit à traiter. Cela signifie que ne seront minimisées que les fréquences du bruit parfaitement cohérentes avec celles contenues dans x(t). Si les signaux $b_j(t)$ contiennent des composantes qui n'existent pas dans x(t) (ou qui ont une faible amplitude), celles-ci ne seront pas (ou mal) minimisées.

Inversement x(t) peut contenir des composantes qui n'existent pas dans les $b_j(t)$ sans que cela ne nuise à la minimisation des composantes "utiles", à condition que le niveau de ces dernières ne soit pas excessivement faible par rapport aux autres.

Dans le cas de bruits périodiques liés à la rotation d'un moteur, un bon choix de x(t) est d'utiliser un codeur monté sur le moteur (ou un signal électrique) délivrant un top par tour. Un tel signal garantit une cohérence parfaite sur le fondamental et les harmoniques et assure une immunité totale de x(t) aux rayonnements des sources secondaires. Dans d'autres cas, un microphone directif ou un accéléromètre convenablement placé, peut remplir ces 2 fonctions.

Le choix de x(t) est primordial pour une bonne réduction et une étude exploratoire de cohérence est souhaitable pour en déterminer la nature ou la position.

5) Paramètre β

Au lancement du programme, β gouverne la vitesse de convergence de l'algorithme vers la solution optimale. Lorsque la minimisation est atteinte, sa valeur conditionne l'aptitude du système à suivre dans le temps des variations du bruit à traiter.

Plus grand est β, plus "rapide" est le système. Il existe cependant une valeur maximale à ne pas dépasser[1], au-dessus de laquelle l'algorithme diverge. La détermination de cette valeur maximale est trop complexe pour être effectuée à partir de la connaissance des paramètres du système. Le système COMPARS possède un moyen simple d'ajuster β : grâce à un bouton potentiométrique placé en face avant du boîtier, on peut faire varier β de zéro à une valeur très élevée. Lors des essais, l'utilisateur pourra chercher expérimentalement le réglage de β, assurant la stabilité et la "rapidité" recherchée. Ce réglage n'est pas pointu et tolère une marge relativement importante pour peu que l'on soit en dessous de la valeur de divergence.

[1] Celle-ci est fonction du nombre de voies, de NW et des $h_{ij}(k)$.